

УДК 621.315.1

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Зарубин А.С.,

научный руководитель канд. техн. наук Гиренков В. Н.

*Сибирский федеральный университет*

### Введение

В настоящее время активно идет разработка нефтегазовых месторождений Восточной Сибири. Ванкорское месторождение является крупнейшим в России источником углеводородов. Промышленная добыча Ванкорской нефти началась с 2009 года, но уже за 2010 год на Ванкоре было извлечено порядка 12,7 миллиона тонн черного золота, а уже с 2013 года месторождение выйдет на проектную мощность.

Росту добычи нефти способствует ввод в строй новых скважин и развитие инфраструктуры. Построены современные вахтовые поселки для работников, собственный нефтеперерабатывающий завод, установка предварительного сброса воды с цехом поддержания пластового давления УПСВ-Юг. На трубопроводе Ванкор–Пурпе (протяженность 556 км), по которому первоначально транспортируется добытая нефть, построены семь нефтеперекачивающих станций (НПС). Также ведется строительство центрального пункта сбора сырья, пуск которого позволит выйти нефтепромыслу на проектируемую мощность.

Для обеспечения электроснабжения всех потребителей общей мощностью порядка 616 МВт (в перспективе на 2020 год) проходит масштабная корректировка системы внешнего электроснабжения с вводом новых генерирующих мощностей, а именно Ванкорской ГТЭС суммарной мощностью 206 МВт, ГПЭС мощностью 42 МВт с дальнейшим подключением к ЕНЭС через Уренгойскую ГРЭС. Также осуществляется строительство крупных подстанций напряжением 220/110 кВ. Для передачи электроэнергии от источников к потребителям планируется возведение линий электропередач напряжением 110-220 кВ, общей протяженностью более тысячи километров.

### Основные проблемы

При проектировании ЛЭП необходимо учитывать следующие условия: скорость ветра, гололедообразование, температура воздуха, а также тип и особенности грунта.

Проводя сравнительный анализ между северными районами Красноярского края (Ванкорское месторождение) и его центральной частью, можно отметить:

Ветер. В соответствии с картой климатического районирования по ветровому давлению указанные территории относятся ко второму району. Скорость ветра повторяемостью 1 раз в 10 лет не превышает 25 м/с.

Гололедообразование. В соответствии с картой климатического районирования по толщине стенки гололеда указанные территории относятся к I, II районам.

Температура воздуха. Для северных районов Красноярского края характерны низкие значения отрицательных температур, что в свою очередь определяет расчетный режим проводов и тросов.

По данным многолетних наблюдений абсолютная минимальная температура воздуха в некоторых районах достигает  $-70^{\circ}\text{C}$ , максимальные температуры находятся в пределах  $20-40^{\circ}\text{C}$  в зависимости от широты. Расчетная температура воздуха (температура наиболее холодной пятидневки), определяющая требования к материалам, на значительной части территории ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ , а в некоторых районах может опускаться до  $-45^{\circ}\text{C}$ .

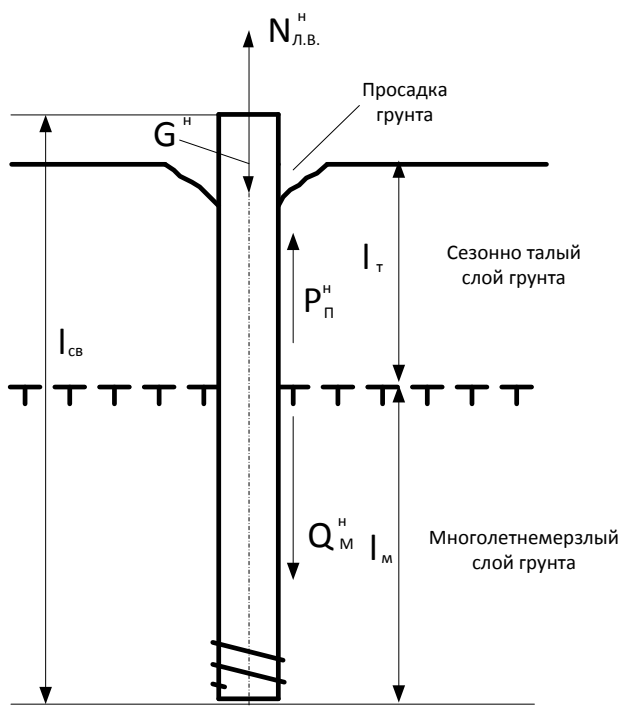
Период отрицательных температур около 250 дней и более. Даты начала периода с отрицательными температурами конец сентября – начало октября, а окончания середина апреля – начало июня, что определяет особенности организации строительства ВЛ.

Грунт. Основной отличительной особенностью грунтов района Крайнего Севера является наличие многолетнемерзлых грунтов, занимающих почти половину территории Российской Федерации.

Многолетнемерзлые грунты – это такие грунты, которые находятся в мерзлом состоянии в течение ряда лет – от трех и более. По сравнению с обычными грунтами содержат три основные составляющие: твердые минеральные части, воду, газы и лед, который обуславливает ряд специфических свойств грунтов, к которым относятся:

- Сезонное протаивание верхнего слоя. Оттаивание в теплое время года верхнего (деятельного) слоя грунта приводит к потере несущей способности;
- Пучинистость – увеличение объема грунта при промерзании, обусловлена тем, что объем льда превышает объем исходной воды.

Пучинистость можно охарактеризовать коэффициентом неравномерности пучения, под которым понимается отношение разности точек пучения к расстоянию между ними. Данный коэффициент должен учитываться при выборе трассы ВЛ, так как при неодинаковых уровнях пучения под каждым из фундаментов может произойти опрокидывание опоры;



- Просадка грунтов, вызванная вытаиванием содержащихся в грунте ледяных включений;

- Ползучесть – подверженность грунта монотонным деформациям при неизменной нагрузке. Данное явление приводит к снижению прочности грунта, ослабляет его сопротивляемость разрушению.;

- Включение мощных включений подземных льдов.

Из всего многообразия факторов влияющих на выбор основных технологических решений при проектировании и строительстве ВЛ в условиях Крайнего Севера являются:

1. Температура окружающего воздуха, влияющая на выбор материала опор.

2. Специфические свойства многолетнемерзлых грунтов, основными из которых являются пучение и сезонное протаивание, влияющие на способ закрепления опор в грунте и глубину заглубления.

На рисунке показаны силы действующие на фундамент установленный в многолетнемерзлом грунте. (здесь  $\Sigma F$  – сумма нормативных нагрузок от линии электропередачи на фундамент при пучении, кг;  $F_1$  – нормативная нагрузка от веса фундамента, кг;  $F_2$  – нормативная сила, возникающая от смерзания фундамента с многолетнемерзлым грунтом, кг;  $F_3$  – нормативная сила выпучивания, кг;  $L$  – длина сваи;  $P$  – мощность талого слоя грунта;  $H$  – глубина погружения сваи в многолетнемерзлый грунт)

Поверхностный слой почвы. Другим неблагоприятным фактором, оказывающим влияние на организацию строительного процесса, является заболоченная территория тундры с уникальным природным покрытием из Кладонии оленьей («Олений мох»), являющаяся основным кормовым лишайником оленьих пастбищ Крайнего севера. Уникальность Кладонии данного вида заключается в том, что скорость ее роста очень мала и составляет всего несколько миллиметров в год. Также «Олений мох» может выдерживать экстремально низкие температуры. Два вида данного лишайника охраняются.

Из вышесказанного можно наметить две основные проблемы, возникающие при проектировании и строительстве ВЛ в условиях Крайнего Севера:

1. Тяжелые климатические, геологические и гидрологические условия производства работ.

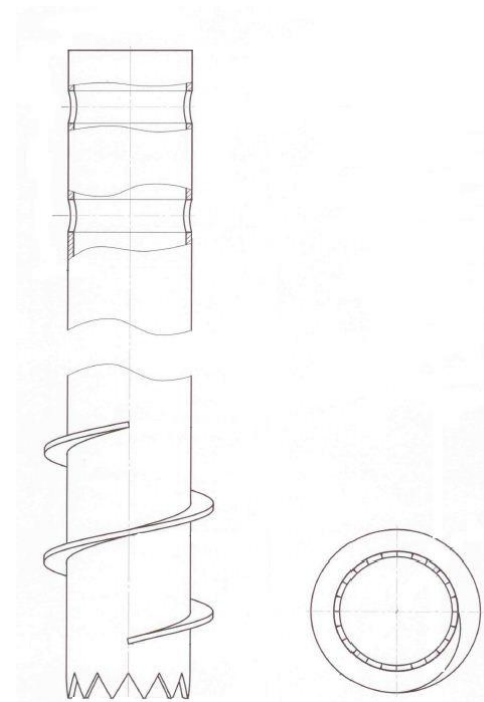
2. Уникальный природный слой тундры, который должен быть защищен от воздействия техногенных факторов строительства.

## Пути решения

Так как расчетная температура воздуха имеет достаточно низкое значение, то использование сталей, применяемых в других, более мягких по температурному режиму районах, невозможно, так как они теряют свою ударную вязкость при экстремально низких температурах. Конструкции, выполненные из таких материалов, могут быть разрушены при незначительном воздействии на них.

Все металлические конструкции, устанавливаемые в районах Крайнего Севера, должны быть выполнены из стали марки С345 по ГОСТ 27772-88 при расчетной температуре до  $-45^{\circ}\text{C}$  и из стали марки С375 при расчетной температуре до  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Для закрепления фундаментов опор линий электропередач в многолетнемерзлых грунтах используется метод сохранения мерзлого состояния грунтов основания. Естественный уникальный растительный слой тундры при этом остается нетронутым, благодаря использованию металличе-



ских свайных фундаментов марки СВЛМ (внешний вид показан на рисунке), предназначенных для установки в вечномёрзлых грунтах. Сохранению растительного слоя также благоприятствует тот факт, что устройство фундаментов ведется в рассматриваемом районе, как правило, зимой.

Для уменьшения воздействия сил пучения на фундаменты применяются следующие мероприятия:

1. Распределение нагрузки между фундаментами таким образом, чтобы действующая на него сила пучения не превышала нагрузочную способность сваи на вырывание.

2. Уменьшение количества свай и увеличение глубины заглубления каждой из них.

3. Конструктивной особенностью фундамента опор может быть уменьшение сечения его в зоне пучения и увеличение сечения в зоне анкирования – в слое многолетнемерзлого грунта.

4. Понижение влажности и теплопроводности грунтов с помощью:

- обсыпки пространства между фундаментом и грунтом песком;

- засыпки внутренней полости сваи цементно-песчаной смесью в пропорции 1:8.

5. Покрытие поверхности сваи битумно-резиновой мастикой, для предотвращения смерзания поверхности сваи с грунтом.

Установка опор на железобетонные грибовидные фундаменты не рассматривается, так как их установка требует выполнения большого объема земляных работ, что вызывает трудности в многолетнемерзлых грунтах, а также нарушает уникальный растительный слой тундры.

Основной материал, применяемый при строительстве ВЛ в районах Крайнего Севера – сталь. Применение деревянных и железобетонных опор не рационально в силу их свойств. Так использование древесины, как материала опор невозможно из-за ее подверженности гниению, а также ее недостатка в северных районах. Применение железобетонных опор ограничено механическими свойствами бетона (хрупкость), а также сложностью транспортировки унифицированных опор, стволы которых имеют в длину 22-26 м.

Основное применение нашли решетчатые металлические унифицированные опоры из стали марок С345, С375 с цинковым покрытием. База таких опор предполагает установку от двух и более свайных фундаментов под каждую ногу, что увеличивает вероятность опрокидывания опор при неравномерности уровней пучения.

В настоящее время широкое распространение получили стальные многогранные опоры. Данные опоры применяются для строительства линий напряжением 10-500 кВ. Основными преимуществами данных опор являются:

1. Установка выполняется на металлическую трубу, что наиболее актуально в районах с грунтами, подверженных пучению;

2. Хорошие эксплуатационные характеристики;

3. Простота конструкции;

4. Высокая скорость монтажа, что также актуально при строительстве в северных районах края. Так как строительство возможно вести только в зимний период (продолжительность ноябрь-апрель, включая подготовительный период). Для сравне-

ния, полное время монтажа промежуточной опоры П110-5В составляет в среднем 1,5-2 дня, то есть в 15-20 раз больше

Так монтаж опоры занимает от 0,5-2 ч., но известны случаи, когда бригада из трех человек установила за одну рабочую смену 16 многогранных опор (3,2 км) на строительстве ВЛ 115 кВ.

5. Уменьшение землеотвода под одну опору;

6. Транспортабельность. Этот факт имеет особое значение, так как большая часть объектов находится в отдаленных и труднодоступных районах;

6. Экономичность. Применение опор данного типа позволяет увеличить пролеты, а следовательно уменьшить количество опор на 1 км ВЛ.

7. Долговечность. Срок службы многогранных опор составляет 50 лет, что в 2 раза выше, чем для железобетонных опор, для металлических решетчатых опор срок составляет 40 лет.

Отдельным пунктом технологических решений можно также выделить заземление опор.

Все опоры, заземление которых не обеспечивается сопротивлением фундаментов, должны быть заземлены.

Как уже было сказано выше все работы по возведению ВЛ должны производиться с минимальным нарушением поверхностного слоя тундры. Заземление опор выполняется с помощью вертикальных и горизонтальных заземлителей. Горизонтальные заземлители в обычных условиях должны укладываться на глубину 0,5 м, что недопустимо в районах Крайнего Севера. Вследствие чего горизонтальные заземлители прокладываются по поверхности, без какого-либо заглубления.

## **Вывод**

В работе показано, что проектирование и строительство линий электропередач в районах Крайнего Севера встречает ряд трудностей связанных с климатическими, гидрологическими, геологическими и экологическими особенностями данных районов. Применение новых для нашей страны технических решений позволяет решить данные проблемы и одновременно повысить скорость строительства, что особенно актуально при малой продолжительности строительного сезона.

## Список литературы

1. Гальперин, В. В. Линии электропередачи в районах многолетнемерзлых грунтов / В. В. Гальперин. – Л.: изд-во «Энергия», 1977. – 184 с.
2. Гальперин, В. В. Справочник по воздушным и кабельным сетям в районах многолетнемерзлых грунтов / В. В. Гальперин. М. – Л.: изд-во «Энергия», 1966. – 18 с.
3. Правила устройства электроустановок [Текст]: по состоянию на 1 января 2008 г. – 6 и 7 изд. (все действующие разделы). – Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 2008. – 853 с.
4. Яковлева О. А. Рекорды Ванкора // Энергетическая стратегия. 2012. №1(19). с. 18-19.
5. Каталог продукции «ЗАВОД винтовых свай» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zvs-ural.ru>. – Загл. с экрана.
6. Абакумов П. Г. Многогранные металлические опоры для распределительных электрических сетей. Опыт и перспективы применения // ЭЛЕКТРО. 2006. №4. с. 21-26.